International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)

Peer-Reviewed Journal

ISSN: 2349-6495(P) | 2456-1908(O)

Vol-10, Issue-12; Dec, 2023

Journal Home Page Available: https://ijaers.com/

Article DOI: https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.1012.9

The use of Bamboo in construction: a sustainable alternative

O uso do Bambu na construção civil: uma alternativa sustentável

Cleysson Márcio Guimarães da Cunha, Priscila Alves da Silva Machado

Universidade do Estado de Minas Gerais - Unidade João Monlevade

Received: 19 Oct 2023,

Receive in revised form: 21 Nov 2023,

Accepted: 04 Dec 2023,

Available online: 12 Dec 2023

©2023 The Author(s). Published by AI Publication. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

***Keywords*—Civil Construction, Bamboo, Sustainability, Steel, Environmental Impact.**

***Palavras-chave*—Construção Civil, Bambu, Sustentabilidade, Aço, Impacto Ambiental.**

***Abstract*—** *The civil construction sector, responsible for the movement of billions of reais, demonstrates a substantial economic impact in Brazil. However, this impact is accompanied by the high consumption of natural resources and the generation of waste. Faced with growing environmental awareness and the need to reduce impacts arising from this nature, interest in sustainable alternatives arises, with emphasis on bamboo, due to its remarkable resistance, characteristics and rapid growth. This work proposes to investigate the perspectives of using bamboo in construction and identify strategies for its effective adoption, considering economic, sustainable and regulatory aspects.*

I. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil foi responsável por movimentar R$ 377,8 bilhões em 2021, sendo destes, 355,8 bilhões, aproximadamente, referentes a obras e/ou serviços, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2023.

Considerando o impacto econômico significativo gerado pelo setor da construção civil em 2021, é plausível inferir que uma quantidade substancial de energia foi consumida na produção dos materiais necessários para as obras.Esse consumo energético assume particular importância quando se trata do uso intensivo de aço na construção civil. Agopyan e John (2011) afirmam que a construção civil é uma das indústrias que mais consomem recursos naturais e geram resíduos no mundo.

Atualmente, o interesse em soluções sustentáveis para vários setores industriais tem se intensificado, sobretudo para o da construção civil, impulsionado pela crescente conscientização ambiental e a necessidade de reduzir o impacto negativo para o meio ambiente. Nesse contexto, o bambu emergiu como um material de construção promissor, destacando-se por sua notável resistência, versatilidade e, acima de tudo, sua capacidade decrescimento rápido e renovável, de acordo com Trevisan *et al.*, (2019 *apud* Marques Luiz e Silva 2020), que advertem que o bambu não pode ser considerado 100%sustentável, pois demanda tratamentos para controle de pragas, podendo esses, ser de natureza física ou química.

No entanto, de acordo com Nunes e Junior (2021), o bambu desponta como uma solução para a construção sustentável devido à sua natureza não poluente e às propriedades comparáveis a outros materiais convencionais na construção civil, além de apresentar

baixo consumo de energia, o que o torna uma alternativa mais econômica.

É importante destacar que o Brasil ostenta uma variedade de mais de 240 espécies distintas dessa planta, destacando-se como líder em biodiversidade no continente americano. Porém, encontra-se em desvantagem em relação a várias nações com menos recursos naturais e avanços tecnológicos (Ribas, 2015).

De acordo com a pesquisa de Trevisan *et al.*, (2019 *apud* Marques Luiz e Silva 2020), o cultivo de bambu desempenha um papel significativo na redução do carbono na atmosfera. Isso ocorre devido à sua notável taxa de crescimento, que resulta na conversão de uma quantidade maior de dióxido de carbono em oxigênio, se comparado às árvores. Além disso, Fialho *et al*., (2005 *apud* Drumond e Wiedman, 2017), destacam que seu uso pode ser uma excelente opção para comercialização em grande escala, uma vez que o bambu não necessita de replantio. Nesse sentido, apresenta grande potencial de geração de renda para produtores rurais. Em contraste, os materiais de construção convencionais como o concreto e aço, embora seja um pilar na construção convencional, levanta preocupações significativas relacionadas à emissão de gases de efeito estufa, provenientes de sua produção e ao esgotamento de recursos.

No cerne da transformação da construção civil está a busca incessante por alternativas sustentáveis. Estas, não apenas atendem às necessidades presentes, mas também asseguram um futuro responsável para as próximas gerações. Ademais, e não menos importante é a redução significativa do custo de construção de moradias, o que pode contribuir para mitigar o déficit habitacional, sendo esta, uma problemática presente em todas as regiões do país(Lima, 2020).

Dessa forma, a questão central que orienta esta pesquisa é: Quais perspectivas se apresentam para a utilização do bambu como material alternativo no setor da construção civil, e quais estratégias podem ser implementadas para enfrentar os desafios associados à sua adoção eficaz em projetos de construção, considerando aspectos econômicos, sustentáveis e regulatórios?

Este trabalho propõe um levantamento bibliográfico sobre o tema e análise de experimentos já realizados, afim de analisar a substituição de materiais de construção convencionais pelo bambu, o que pode contribuir para a sustentabilidade e trazer economia às famílias de baixa renda e/ou famílias residentes em áreas rurais onde já se dispõe dessa matéria prima de forma abundante, eliminando os gastos iniciais com compra e transporte, dessa. Além domais, contribuir para o diálogo em torno de uma construção civil mais consciente e harmoniosa com o meio ambiente e as necessidades de nossa sociedade.

II. ESTUDO ARTE

2.1 Bambu

O bambu é uma planta gramínea, integrante da família *Poacea*e à subfamília *Bambusoide*, da classe *Monocotyledoneae*, divisão das *Angiospermeae* (Isaia, 2017).

Desse modo, Silva, G. A. (2020) e Silva, J. V. (2020) esclarecem que essa planta está presente constantemente no cenário brasileiro, em toda zona tropical e parte da zona subtropical do globo terrestre, possui crescimento rápido.

Pereira (2018) declara a existência de mais de 1.200 espécies de bambu distribuídas e catalogadas em, aproximadamente, 90 gêneros, espalhadas pelo mundo.

No Brasil, o bambu se divide em duas categorias distintas: lenhosos e herbáceos, sendo estes mais finos e flexíveis, ideais para aplicações em trabalhos de menor escala, como artesanato. Já os lenhosos, também chamados de guaduas, apresentam um tronco espesso e duro (Oliveira, 2013).

Ainda, de acordo com Andrade (2022), as variedades mais comuns no território brasileiro compreendem:

- *Bambusavulgaris*, (bambu verde);
- *Bambusavulgaris var. vitata*, (bambu imperial);
- *Bambusatuldoides*, (bambu comum);
- *Guadua angustifólia*;
- *Phyllostachys*,(algumas variantes);
- *Dendrocalamusgiganteus*, (bambu gigante ou bambu balde);

Isaia (2017) e Rusch, Hillig e Ceolin(2018) explicam que os principais componentes da macroestrutura do bambu são as raízes, rizomas, colmos, ramos, folhas e flores e frutos. A morfologia do bambu é mostrada na Fig 1.
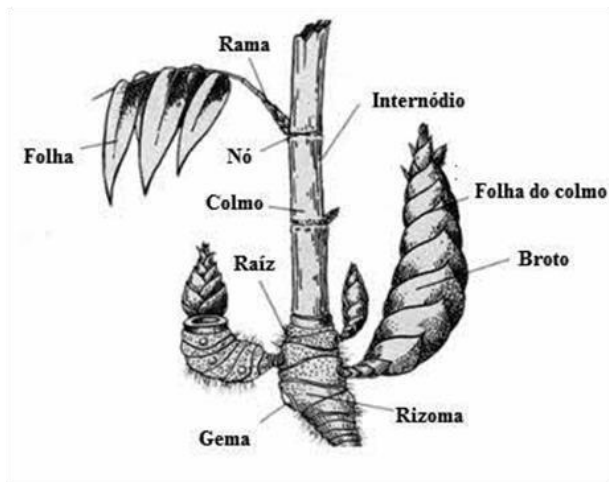
Fig.1: Anatomia da macroscopia do bambu.

Fonte: NMBA, (2004 apud Padován, 2010).

Isaia (2017) explica que os colmos, também conhecidos como hastes de bambu possuem uma composição fibrosa e dura, constituída principalmente por celulose e lignina. São tubos tronco-cônicos com saliências onde se situam os nós, sendo esses a estrutura principal da parte aérea da planta. Eles são, frequentemente, utilizados na construção em diversas aplicações. Na Fig. 2 é apresentado a seção de um colmo.
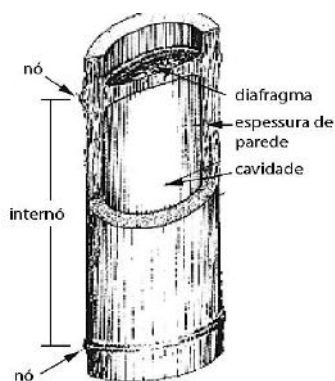
Fig.2: Colmo de bambu.

Fonte: Ghavami, Barbosa e Moreira (2017).

Para emprego na Engenharia, Ghavami, Barbosa e Moreira (2017) explicam que o comprimento médio dos colmos, a distância internodal (entrenó, interno ou internódio), o diâmetro externo e espessura da parede são parâmetros de suma importância de conhecimento, ao se optar por esse material. Além disso, os autores citam que tais parâmetros variam de acordo com a espécie, com fatores locais, como qualidade do solo, temperatura e umidade relativa do ambiente, insolação, espaçamento entre touceiras, com o manejo do bambuzal e devido a posição ao longo do colmo.

Devido à alta resistência mecânica e de tração, os colmos podem servir como viga, pilar, alvenaria, acabamento e várias outras funções (Souza, Leão e Quaresma, 2020).

Ghavami (2006) cita que os colmos são responsáveis por dar leveza e contribuir de forma importante para a flexibilidade. Aliado a essas qualidades, o bambu possui um baixo peso específico, o que reduz o custo de seu manuseio e transporte, comparado a outros materiais.

A camada externa do colmo, composta por feixes de fibras entrelaçadas, confere a ele grande parte de sua resistência e é fundamental para a durabilidade e estabilidade do material. Isso se deve à forma como a água é absorvida e distribuída dentro da planta, pois o tecido parenquimatoso decresce no sentido do centro para a parte externa o que promove maior densidade das fibras e como resultado, maior resistência (Almeida, 2023).

Apesar dos benefícios gerados pela resistência da parte mais externa dos colmos, sua estrutura anatômica dificulta o seu tratamento, principalmente os químicos, contra ataques de fungos e intempéries. Nesse sentido,Tiburtino *et al.*, (2015, p. 130) esclarece que "O bambu, ao contrário da madeira, não possui elementos anatômicos dispostos na direção radial, sendo os vasos o principal meio de movimentação dos líquidos no interior dos colmos".

No processo de absorção e liberação da água, as dimensões dos colmos do bambu podem ser alteradas (Ferreira, 2007). Em conformidade, o teor de umidade presente na gramínea pode afetar a estabilidade dimensional, resistência à flexão e à fluência.

Considerado um material compósito e anisotrópico quando analisado microscopicamente, o bambu é constituído por feixes de fibras aderidas a uma substância aglutinante, a lignina (Isaia, 2017).

Para a análise das propriedades, de acordo com Ghavami, Barbosa e Moreira (2017), é necessário adotar três direções: direção longitudinal, radial e circunferencial. Na Fig. 3 são apresentadas as direções a serem consideradas nos colmos de bambu.
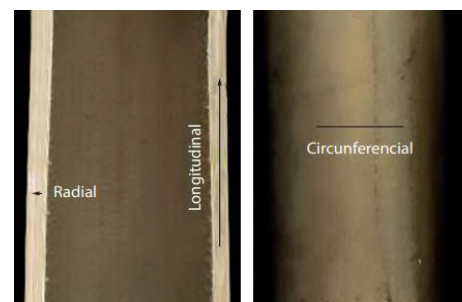
Fig.3: Direções a serem consideradas nos colmos de bambu.

Fonte: Ghavami, Barbosa e Moreira (2017).

Designada direção paralelas as fibras, a direção longitudinal é aquela analisada ao longo da espessura da parede do colmo. A direção circular ou circunferencial é aquela paralela ao perímetro da seção transversal do colmo e a radial é aquela que se analisa ao longo da espessura da parede do colmo (Isaia, 2017).

De acordo com Fabricio, Brito e Vittorino (2017), na direção radial as fibras presentes não são distribuídas homogeneamente na matriz, existe uma concentração delas próximo a face externa do material. Na direção radial é verificada a redução da presença de fibras à medida que se afasta da casca para o centro, mas toda via é identificada uma distribuição praticamente uniforme ao longo da direção longitudinal, como também na circunferencial (Isaia, 2017).

Embora o bambu seja um elemento esbelto, é um material muito resistente. Diante da distribuição das fibras e vasos não homogênea ao longo da espessura da parede, existe uma maior densidade, próximo à camada externa, o que eleva a resistência do colmo (Fabricio, Brito e Vittorino, 2017).

A resistência do colmo do bambu é instituída pela presença de vasos e veios formados por um tecido reforçado, denominado esclerênquima (Isaia, 2017).

1.2 Manejo

Com o intuito de prolongar sua vida útil, a obtenção do bambu requer alguns cuidados, deve-se destacar os principais pontos a serem analisados: a seleção, o corte, a cura, a secagem e os tratamentos imunizantes. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por intermédio de sua normativa n° 17043 intitulada como “Varas de bambu para uso estrutural - Colheita, tratamento, preservativo e classificação pelo diâmetro”, cita algumas premissas em relação ao uso de bambu como elemento estrutural.

2.2.1 Seleção

A seleção dos colmos para corte deve ser realizada apenas para os colmos maduros, com idade entre 4 e 7 anos. Além disso, a presença de galhos e subgalhos, pode evidenciar a idade do colmo, ao mesmo tempo, que colmos muito maduros, geralmente acima de 7 anos, apresentam-se secos e sem presença de galhos, esses devem ser desprezados (ABNT, 2023).

Para fins comerciais marcações devem ser feitas assim que os colmos despontarem nos bambuzais, com intuito de garantir sua maturidade (ABNT, 2023).

Os colmos selecionados devem não apenas estar visualmente maduros, mas também em bom estado de saúde, livres de quaisquer danos causados por fungos ou insetos, como perfurações. Além disso, não devem exibir quaisquer defeitos, como rachaduras e danos físico-mecânicos (ABNT, 2023).

2.2.2 Corte

A ABNT (2023) orienta o corte de colmos de bambu na plantação enfatizando a importância de evitar danos como fissuras e trincas. O corte deve ser realizado sem choques, rasando um nó na base do colmo para prevenir acúmulo de água. Recomenda-se o uso de motosserra ou equipamento equivalente, manejado por profissional qualificado e seguindo as instruções do fabricante. Outras ferramentas, como facões e machados podem ser utilizadas com precaução. Após a colheita, é necessário desbastar, retirar galhos e dividir o colmo em varas, preferencialmente de 3m ou 6m, sendo a serra tipo sabre um instrumento prático para essas operações.

Noia (2012) enfatizam que o melhor momento para cortar os colmos de bambus entouceirantes é durante a estação seca, quando a umidade e a quantidade de seiva são reduzidas. Isso diminui o risco de infestação por insetos xilófagos.

2.2.3 Cura

Logo após o corte, é essencial iniciar o processo de tratamento preservativo dos colmos. Uma abordagem tradicional envolve a cura/maturação na mata, visando preservar as propriedades naturais do bambu e prevenir a deterioração prematura do material. Consiste em posicionar os bambus verticalmente sobre uma pedra para permitir que a seiva residual escorra (ABNT, 2023).

De acordo com Noia (2012) essa etapa remove o amido e evita ataques de insetos por meio de um processo de fermentação que dura aproximadamente três semanas.

Outro processo indicado para a cura é a imersão em água: esta penetra no interior dos colmos, expulsando a seiva e requer um tempo mínimo de 3 semanas.

2.2.4 Secagem

A secagem do colmo de bambu é essencial para equilibrar sua umidade com a atmosfera. A ABNT (2023) ressalta que a após a secagem, a umidade se aproxima de percentuais que variam de 12% a 16%, de acordo com as características ambientais do local. Devem ser descartados colmos que apresentem fissuras que ultrapassem 2 nós em sequência ou que a soma de seus comprimentos seja igual ou maior que 20% do comprimento total da peça.

A secagem pode ser realizada por meios naturais, secagem ao ar livre, ou por processos controlados, como estufas (Almeida, 2016).

2.2.5 Tratamentos imunizantes

Segundo a norma supracitada, o tipo de tratamento preservativo, depende do tipo de utilização do colmo: interior ou exterior, além da legislação vigente, grau de toxicidade e segurança do manuseio. Esses tratamentos podem ser químicos ou naturais, sem ou sob pressão, dos quais cita os principais:

2.2.5.1 Produtos hidrossolúveis

Os produtos hidrossolúveis se dissolvem em água e protegem as varas de bambu, penetrando nos tecidos. (Pereira, 2018). A solução de tratamento pode ser reaproveitada, mas é essencial verificar sua limpeza e concentração antes de cada aplicação para assegurar a eficácia. A eficiência da solução reutilizada é mantida com concentração dos produtos hidrossolúveis e baixa matéria orgânica na água, podendo ser melhorada com processos de filtragem.

Um tratamento comum é a submersão das varas em uma solução de produtos químicos contendo boro. Exemplos incluem a combinação de ácido bórico e bórax, cada um em 3% a 4% (totalizando 6% a 8% da solução), ou octoborato de sódio, com pelo menos 5% em massa (ABNT, 2023).

2.2.5.2 Óleos solúveis

São usados solventes para diluir o material imunizante e facilitar a absorção pelos tecidos dos colmos, existem vários tipos de óleos solúveis utilizados no tratamento da madeira, mas esses são mais nocivos ao meio ambiente (ABNT, 2023).

2.2.5.3 Tratamento natural: cura na mata ou imersão em água

A ABNT (2023) ressalva que esses tratamentos não apresentam comprovação de proteção dos colmos a longo prazo. Desse modo recomenda sua utilização em construções simples e/ou temporárias.

2.2.5.4 Imersão em soluções preservativas

Os colmos são submersos em recipientes contendo uma solução. Eles devem ter perfurações na região dos diafragmas, feitas com uma broca de diâmetro mínimo de 12,5 mm e máximo de 16,0 mm, ou em forma de cruz com dois furos em cada junta dos nós. As perfurações devem ser inclinadas para evitar a continuidade na direção longitudinal das fibras e feitas com uma broca que não ultrapasse os 6,3 mm de diâmetro (ABNT, 2023).

2.2.5.5 Injeção de solução nos entrenós

De acordo com a ABNT (2023), é realizado um furo em cada entrenó com broca de 5mm e injetada uma solução preservativa, que dependendo do volume da cavidade internodal pode variar de 50 mL a 200mL

2.2.5.6 Difusão vertical

As varas de bambu são posicionadas na vertical com todos os diafragmas perfurados, exceto o último da base. Em seguida o tubo é preenchido com a solução preservativa. Em conformidade a norma apresentada, esclarece que dependendo da solução, esse tratamento pode durar duas semanas e que a solução pode ser reaproveitada (ABNT, 2023).

2.2.5.7 Deslocamento da seiva

Método conhecido como *Boucherie* modificado. Nele, um equipamento com mangueiras contendo o líquido imunizante é posicionado com bicos na extremidade do bambu (Marçal, 2008). Isso gera pressão, expelindo a seiva, que é então substituída pela solução. Esse processo é similar ao processo de autoclave, a diferença se dá pelo fato de os diafragmas serem perfurados, pois uma vez que são ocos, podem sofrer danos causados pelo processo de vácuo iniciado antes da aplicação da pressão (ABNT, 2023).

2.3 Propriedades físicas do bambu

De acordo com Marques, Luiz e Silva (2020), o tipo da espécie, técnicas de manejo e os fatores locais como: qualidade do solo, temperatura, umidade relativa do ambiente, topografia, espaçamento entre touceiras e regime pluvial, interfere de forma direta nas propriedades físicas do bambu. As principais propriedades que devem ser analisadas para a engenharia são: o comprimento do colmo, a distância entre os nós, o diâmetro, a espessura da parede, a absorção de água e a massa específica.

2.3.1 Comprimento do colmo

Algumas espécies de bambu podem superar os 30m de comprimento, o que promove a elas boas características físico-mecânicas, aliadas ao comprimento das fibras (Almeida, 2023). O encurvamento máximo do colmo é dado por: comprimento dividido por 100, ou seja, se o comprimento total é de 3 metros, seu encurvamento não pode ultrapassar 3cm (ABNT, 2023).

2.3.2 Distância entre nós

No nó, as fibras que anteriormente seguiam uma direção paralela se entrelaçam, resultando em uma maior densidade de fibras em várias direções. Isso confere ao nó uma maior capacidade de resistir à compressão e evita a separação das fibras ao longo dos entrenós. (Marçal, 2008). Nesse sentido a distância entre nós interfere nos valores de resistência: a medida que o espaçamento cresce a resistência à compressão tende a diminuir.

2.3.3 Diâmetro

Conforme discutido por com Fabricio, Brito e Vittorino (2017 *apud* Marques, Luiz e Silva 2020), a base dos colmos, as quais possuem maior diâmetro, é a que suporta

as maiores solicitações de tração, devido à ação dos ventos.

Ghavami, Barbosa e Moreira (2017), acrescentam que a diferença entre o maior e o menor diâmetro, dividida pelo comprimento do colmo (conicidade), é limitada a 0,67% para o emprego do bambu em estruturas. Algumas espécies podem atingir 25cm de diâmetro em condições normais.

2.3.4 Espessura da parede

Do mesmo modo que ocorre com o diâmetro, a espessura da parede diminui da base para o topo. No entanto, Vale, Moreira e Martins (2017 *apud* Almeida 2023), ressalta que esse fator contribui para o aumento de sua resistência que ocorre da parte interna para a externa, com a diminuição do parênquima e aumento das fibras.

No que diz respeito à espessura da parede para fins estruturais, Caeiro (2010) declara que não é admissível espessura inferior a 1cm.

2.3.5 Absorção de água

Quando o bambu é exposto a variações de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, que é aproximadamente 20%, ele sofre consideráveis alterações dimensionais. Sua retração ocorre desde o início do processo de secagem, sendo a higroscopicidade dos extrativos presentes nas células de parênquima, o principal fator na absorção de água pelo colmo já seco (Drumond e Wiedman, 2017).

É destacado por Ghavami, Barbosa e Moreira (2017), que se a resistência do bambu se apresenta muito baixa, com umidade de equilíbrio na faixa dos 10%, é sinal de que o tempo mínimo de maturação não foi respeitado.

Ghavami, Barbosa e Moreira (2017), alertam que em hipótese alguma, devem ser utilizadas estruturas de bambu com temperatura de trabalho que ultrapasse os 65º C.

2.3.6 Peso específico

Segundo Murad (2007), ao comparar a resistência à tração do bambu com seu peso específico, obtém-se um valor 2,77 vezes maior do que o do aço. Consoante Cruz(2022) reitera que essa razão é superior à do aço CA50, o que possibilita construções mais leves.

Isaia (2017) cita os valores ideais de peso específico para bambus mais apropriados para a construção de 0,8kg/dm³ a 0,95kg/dm³. Na Tabela 1 é apresentado as características físicas de algumas espécies de bambu.

Tabela 1: Características físicas de algumas espécies.

Espécie	L (m)	D (cm)	t (cm)	d (cm)
Dendrocalamus asper	20- 30	8-20	1,1-2	20-45
Dendrocalamus giganteus	24-60	10-20	2,5	40-50
Guadua augustifólia	Até 30	14-20	0,12-0,15	36-45
Gagantochloa levis	Até 30	5-16	1-1,2	45
Plyllastachys Pubescens	out/20	15-18	0,8-1,4	20-50

Fonte: Almeida (2023), (adaptado pelo autor). (L) comprimento do colmo; (D) diâmetro externo; (t) espessura da parede; (d) distância entre nós.

2.4 Propriedades Mecânicas do Bambu

Fabricio, Brito e Vittorino (2017), declara que a resistência longitudinal, também conhecida como resistência paralela às fibras, é a predominante. Devido à orientação das fibras ao longo do eixo do colmo, o bambu possui maior resistência à tração do que à compressão. O módulo de elasticidade na direção paralela às fibras varia de acordo com a posição do colmo. Ainda segundo Fabricio, Brito e Vittorino (2017), a resistência à compressão paralela às fibras é, em geral, cerca de 30% menor, se comparada à resistência à tração no mesmo sentido.

Goh *et al.*,(2020 *apud* Marques, Luiz e Silva 2020), explicam que isso se deve ao fato de a distribuição das fibras ocorrer de forma heterogênea no sentido do eixo radial, pois a resistência diminui da parte externa para o centro do colmo, resultado da presença mais densa da matriz de parênquima.

A Fig. 4 apresenta a influência do teor de umidade na resistência à compressão dos colmos.
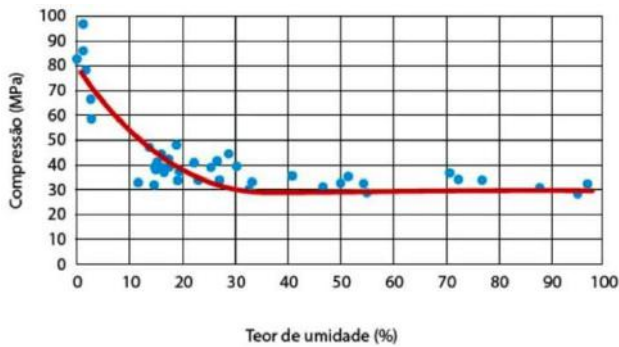
Fig.4: Resistência à compressão.

Fonte: Fabricio, Brito e Vittorino (2017).

Conforme indicado por Santos (2021), a força de cisalhamento atua na mesma direção das fibras. Pesquisas evidenciam que esse é um dos aspectos desfavoráveis do bambu, o que pode resultar em possíveis ocorrências de fissuras. De maneira geral, é observado que a resistência ao cisalhamento do bambu tende a diminuir à medida que o teor de umidade aumenta, conforme mencionado por Pereira (2012). Na Tabela 2 é mostrado as propriedades mecânicas de algumas espécies de bambu.

Tabela 2: Propriedades mecânicas de algumas espécies.

Espécie	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	σ_f (MPa	τ (MPa)
Dendrocalamus giganteus	135	40	108	46
Dendrocalamus asper	285	28	89	6,6
Gagantochloa levis	296	30	84	7,2
Guadua augustifólia	237	29	82	8
Plyllastachys Pubescens	120	42	-	-

Fonte: Santos e Madalosso (2020 *apud* Almeida 2023), (adaptado pelo autor). (σ_t) tração; (σ_c) compressão; (σ_f) flexão; (τ) cisalhamento.

2.5 Normatização e o uso do bambu na construção civil

Souza, Leão e Quaresma (2020), citam que o avanço no setor da construção civil tem levado ao estudo contínuo de materiais alternativos para substituir os convencionais, como por exemplo, o concreto e o aço.

No Brasil, os primeiros estudos científicos relativos ao bambu tiveram início em 1979, no Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), desde então, foram desenvolvidos vários programas de investigação do uso do bambu e das fibras naturais (sisal, coco, piaçava e polpa celulótica de bambu) como materiais de baixo impacto ambiental, para serem empregados na construção (Isaia,2017). Através de um projeto iniciado em 2017 foi elaborada a primeira norma brasileira, dirigida às estruturas de bambu, com base na ISO 22156-Bamboo Structural Design (Cruz, 2022).

Em 2020, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio do Comitê Brasileiro da Construção Civil (CB-002), divulgou essa norma dividida em duas partes. A primeira trata do planejamento e dimensionamento de estruturas feitas de bambu (NBR 16828-1), enquanto a segunda diz respeito aos procedimentos de teste para determinar as propriedades físico-mecânicas do bambu (NBR16828-2).

Adicionalmente, em março de 2023, foi publicada a NBR17043, que trata da colheita, tratamento imunizante e classificação das varas de bambu para uso estrutural. Esta, elaborada pelo comitê ABNT/CB-002 Construção Civil, CEE: 002:126.012 Estruturas de Bambu.

Conforme explanado por Oliveira (2013), a utilização do bambu na construção civil remonta a séculos, sendo sua resistência comprovada em diversos ensaios distintos.

Por apresentar propriedades mecânicas favoráveis, grande disponibilidade e natureza sustentável, o bambu tem se mostrado um material de construção promissor (Agnol, 2019).

De acordo com Beraldo & Rivero (2003), o bambu possui boas características físicas, o que o credencia para aplicação estrutural na construção civil. Além disso, o bambu é altamente resistente à tração, similar ao aço, e sua resistência à compressão é semelhante à do concreto. Os autores também elucidam que o uso do bambu é uma boa opção para construções em áreas de difícil acesso, devido a sua baixa massa específica.

No entanto, Padovan (2010), destaca que um dos principais obstáculos ao usar o bambu em larga escala na construção civil é a forma como as conexões são abordadas para transmitir as cargas estruturais, em um processo análogo ao que é feito com materiais convencionais como o aço e a madeira.

Em conformidade, Alves (2019), acrescenta como outro fator de significativa importância, o fato de o bambu ser um material anisotrópico, ou seja, possui propriedades distintas ao longo do seu colmo. No entanto, de forma positiva, os diafragmas existentes transversalmente em seu sentido longitudinal, tendem a evitar a flambagem lateral do tubo.

Muitos projetos ao redor do mundo incorporam o uso do bambu, sendo que em alguns casos, ele assume o papel central na estrutura da construção. As Figuras 5 à 8 ilustram alguns exemplos dessas realizações.

Fig.5: Pontilhão sobre braço de rio

Fonte:Oliveira (2013).

Fig.6: Casa contemporânea

Fonte: Andrade (2022)

Fig.7: Casa estruturada com bambu

Fonte:Oliveira (2013).

Fig.8: Grandes vãos

Fonte:Andrade (2022).

Como evidenciado anteriormente, devido à sua versatilidade, o bambu pode ser empregado em estruturas e vencer grandes vãos.

III. CONCLUSÃO

O bambu como material de construção é uma alternativa útil. Em relação às suas propriedades, o bambu apresenta grande resistência e boa trabalhabilidade, além de possuir características semelhantes às do aço, principalmente quanto à resistência à tração.

Não obstante sua ampla utilização no ramo da construção civil, no Brasil, persiste uma escassez de estudos abrangentes sobre suas características físicas e mecânicas minimizada pela recente elaboração de normas técnicas destinada às estruturas de bambu.

Nesse sentido, os desafios em termos de tecnologia e desenvolvimento de técnicas de utilização do bambu na construção civil, o que coloca o Brasil em desvantagem em relação a outras nações, podem ser superados.

REFERÊNCIAS

[1] AGNOL, Flávia Cristina Dall'. Estudo da viabilidade do uso do bambu em vigas de concreto armado em substituição ao aço. Trabalho de Conclusão. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2019.

[2] AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley Moacyr. O desafio da sustentabilidade na construção civil. São Paulo: Blucher, 2011.

[3] ALMEIDA, J. de. Potential uses for BAMBOO. Sustainability in Debate, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 178–195, 2016.

[4] ALMEIDA, Victor. Revisão de literatura: aplicabilidade do bambu na construção civil. 2023. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/3820. Acesso em 12/nov. 2023.

[5] ALVES, Amanda Altrão. Uso do bambu na construção civil: aplicações estruturais e arquitetônicas para um desenvolvimento sustentável. 2019. Trabalho de Conclusão

de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25425. Acesso em: 17 out. 2023.

[6] ANDRADE, P.B. Estudo do uso: bambu como elementos construtivo em praças urbanas. Cabedelo, PB, 2022.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17043: Varas de bambu para uso estrutural – Colheita, tratamento preservativo e classificação pelo diâmetro. Rio de Janeiro, 2023.

[8] CAEIRO, João Gabriel de Matos. Construção em bambu. 2010. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitectura de lisboa. Disponível em: http://hdl.handle.net/10400.5/3337. Acesso em 3 out. 2023.

[9] COLLIS, J. & HUSSEY, R. Business Research: a Practical Guide for Undergraduate and Postgraduate Students, 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

[10] CRUZ, Luisa Souza Frade da; BARROS, Marcelo Miranda. Bambu Estrutural: Possibilidades para uma Engenharia Sustentável. MIX Sustentável, v. 8, n. 2, p. 79-92, mai. 2022. ISSN-e: 24473073.Disponível em: . DOI: http://dx.doi.org/10.29183/2447- 3073.MIX2022.v8.n1.79-92. Acesso em: 2 nov. 2023.

[11] DRUMOND, Patrícia Maria et al. Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2017. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1078373. Acesso em: 25 nov. 2023.

[12] FABRICIO, Márcio Minto; BRITO, Adriana C.; VITTORINO, Fúlvio. Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação. Porto Alegre: Antac, 2017.

[13] FERREIRA, Gisleiva Cristina dos Santos. Vigas de concreto armadas com taliscas de bambu Dendrocalamus Giganteus. 2007. 174p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: https://hdl.handle.net/20.500.12733/1605374. Acesso em: 3 out. 2023.

[14] GHAVAMI, Khosrow. Retração, Fluência e Fratura em Compósitos Cimentícios Reforçados com Polpa de Bambu. 2006. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

[15] GHAVAMI, Khosrow; BARBOSA, Normando Perazzo; MOREIRA, Luis Eustáquio. Bambu como material de engenharia. Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação, p. 305-348, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.26626/978-85-5953-029-2.2017C0012.p.305-348. Acesso em: 18 nov. 2023.

[16] GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

[17] ISAIA, G. Cechella, Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais, 3a. São Paulo: Arte Interativa, 2017.

[18] LIMA, Mateus Fernandes Vilela. O direito à moradia e as políticas públicas habitacionais brasileiras da segunda década do século XXI. Geo UERJ, n. 36, p. 48406, 2020. DOI: https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.48406. Acesso em 18 out. 2023.

[19] MARÇAL, Vitor Hugo Silva; AMBIENTAL, CIVIL E. Uso do bambu na construção civil. Projeto final em Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

[20] MARQUES, Sara Corrêa; LUIZ, Gabriel Andrade; SILVA, Thalles Gumieri da. Emprego do bambu na construção civil. Epitaya E-books, *[S. l.]*, v. 1, n. 12, p. 72-81, 2020. DOI: 10.47879/ed.ep.2020144p72. Disponível em: https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/51. Acesso em: 18 nov. 2023.

[21] MURAD, Mauricio. A violência e o futebol: dos estudos clássicos aos dias de hoje. FGV Editora, 2007.

[22] NOIA, Paula Regina da Cruz. Sustentabilidade socioambiental: Desenvolvimento de sistemas construtivos em bambu no Vale do Ribeira, SP. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. DOI: https://doi.org/10.11606/D.16.2012.tde-04032013-095707. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-04032013-095707/en.php. Acesso em: 2 nov. 2023.

[23] NUNES, Gabrielly da Mota; JÚNIOR, Antônio da Silva Sobrinho & DOS SANTOS PASTOR, Jaiane. O uso do bambu como material estrutural na construção civil. Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, n. 55, p. 152-164, 2021. Acesso em: 20 set. 2023.

[24] OLIVEIRA, Luiz Fernando Andrade de. Conhecendo bambus e suas potencialidades para uso na construção civil. 2013. Disponível em: http://hdl.handle.net/1843/BUBD-9GBPWL. Acesso em: 22 out. 2023.

[25] PADOVAN, Roberval Bráz. O bambu na arquitetura: desing de conexões estruturais. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Bauru, Bauru, 2010.

[26] PEREIRA, Beatriz Oliveira. Estudo de concretos com adição de bambu. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6445. Acesso em: 10 out. 2023.

[27] PEREIRA, Marco Antonio dos Reis. Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. 2012. 200 f. Tese (livre-docência) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2012. Disponível em: http://hdl.handle.net/11449/106710. Acesso em: 5 nov. 2023.

[28] RIBAS, Rodrigo Pinheiro. Bambu: planta de grande potencial no desenvolvimento sustentável. 2015.

[29] RIVERO, Lourdes Abbade; BERALDO, Antonio Ludovico. BAMBU LAMINADO COLADO (BLC). Revista Floram: Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p.36-46, dez. 2003. Disponível em:

http://www.floram.org/files/v10n2/v10n2a5. Acesso em: 30 ago. 2023.

[30] RUSCH, F.; HILLIG, Éverton; CEOLIN, G. B. Anatomia de hastes adultas de bambu: uma revisão. Pesquisa Florestal Brasileira, *[S. l.]*, v. 38, 2018. DOI: 10.4336/2018.pfb.38e201701530. Disponível em: https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1530. Acesso em: 18 nov. 2023.

[31] SANTOS, Erick Breno Azevedo dos. Análise energética de uma caldeira mista utilizando cavaco de bambu como combustível. 2021. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: http://monografias.ufrn.br/handle/123456789/11468.
Acesso em: 10 nov. 2023.

[32] SILVA, Gilson Alves; SILVA, João Victor Maia. Sistema construtivo em bambu - CALFITICE. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.1025. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1025. Acesso em: 18 nov. 2023.

[33] SOUZA, Fellipe Morais; LEÃO, Lucas Osório; QUARESMA, Wanessa Mesquita Godoi. Estado da Arte do Bambu na Construção Civil. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 4, p. 19637-19653, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n4-216. Acesso em 15 out. 2023.

[34] TIBURTINO, Rogy Frigeri; PAES, Juarez Benigno; BERALDO, Antônio Ludovico; Arantes, Marina Donaria Chaves; Brocco, Victor Fassina**.** Tratamento preservativo de duas espécies de bambu por imersão prolongada e *Boucherie* modificado. Floresta e Ambiente, v. 22, p. 124-133, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.032113. Disponível em: https://www.scielo.br/j/floram/a/Pd8PFkcNFGCBnfcwMYSspqx/?lang=pt&format=html. Acesso em: 20 set. 2023.